

Tagungsbeitrag zur Jahrestagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Komm. IV, „Böden – Lebensgrundlage und Verantwortung“, 7.-12. September 2013, Rostock, Berichte der DBG (nicht begutachtete online Publikation)
<http://www.dbges.de>

Vergleichbarkeit manueller und automatischer Haubenmesstechnik zur Erfassung des Ökosystem-CO₂-Austauschs

U. Hagemann^{1,2}, M. Franzke¹, M. Pohl¹, M. Hoffmann¹ und J. Augustin¹

Zusammenfassung: Eine insbesondere für kleinräumige Parzellenversuche gut geeignete Methode zur Quantifizierung des Ökosystem-CO₂-Austauschs basiert auf periodischen Messkampagnen mit einem manuellen *non-flow-through non-steady-state* Haubensystem (Livingston und Hutchinson 1995; Drösler 2005). Da die Datenlücken zwischen den einzelnen Messkampagnen durch Modellierung auf Basis kontinuierlicher Witterungsdaten geschlossen werden, hängt die Güte der Ergebnisse stark von der Frequenz der Messkampagnen und der Passfähigkeit der ermittelten Modellparameter für die Zeiträume zwischen den Kampagnen ab. Der Einsatz eines automatischen Messsystems mit transparenten Hauben liefert fortlaufend hochaufgelöste Messdaten für den Netto-Ökosystemaustausch (NEE; tagsüber) und Ökosystematmung (R_{eco} ; nachts) und begrenzt die Modellierung auf kurze Zeiträume, in denen die Technik z.B. wegen Bewirtschaftungsmaßnahmen deinstalliert werden muss. Eine Kombination manuell und automatisch erhobener CO₂-Flussraten wäre zur Erhöhung der Zuverlässigkeit der modellierten CO₂-Austauschraten sinnvoll, erfordert jedoch Untersuchungen darüber, ob bzw. unter welchen Voraussetzungen das möglich ist.

Ergebnisse von Vergleichsmessungen der beiden Messsysteme zu drei verschiedenen Terminen (2011/2012) zeigen, dass beide Messsysteme tagsüber (NEE) prinzipiell vergleichbare Ergebnisse liefern und somit eine NEE-Modellierung auf Basis kombinierter manuell und automatisch ermittelter CO₂-Flussraten zulässig ist. Nachts (R_{eco}) weist jedoch das manuelle Messsystem leicht höhere Flussraten als die automatischen Hauben auf, so dass die Messsysteme diesbezüglich nur eingeschränkt kombinierbar sind. Mögliche Ursachen der Differenzen sind in weiteren Versuchen zu analysieren.

Schlagworte: Haubenmesstechnik, CO₂-Austausch, Netto-Ökosystemaustausch, Ökosystematmung

Hintergrund

Manuelle Messsysteme mit transparenten und intransparenten Hauben sind insbesondere für die Erfassung kleinräumiger standörtlicher Variabilität des Ökosystem-CO₂-Austauschs und damit z.B. auch für Parzellenversuche gut geeignet. Da die zeitliche Auflösung von manuellen Messsystemen aufgrund der nur periodisch durchgeführten Messkampagnen relativ gering ist, müssen die Datenlücken zwischen den einzelnen Kampagnen durch Modellierung geschlossen werden (*gap filling*). Dabei werden Ökosystematmung (R_{eco}) und Bruttoprimärproduktion (BPP) auf Basis kontinuierlich erfasster Temperaturen (R_{eco} ; Modell: Lloyd und Taylor, 1994) bzw. photosynthetisch aktiver Strahlung (BPP; Modell: Michaelis und Menten, 1913) modelliert, und anschließend zum Netto-Ökosystemaustausch (NEE) aufsummiert. Die Güte der Gesamtergebnisse hängt jedoch sehr stark von der Frequenz der Messkampagnen (ca. alle 3-4 Wochen) und der Passfähigkeit der ermittelten Modellparameter für die dazwischen liegenden Zeiträume ab. Bei automatischen Messsystemen ist durch die fortlaufende, zeitlich hoch aufgelöste Erfassung des CO₂-Austauschs das *gap filling* durch Modellierung auf Zeiträume begrenzt, in denen die

¹ Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., Institut für Landschaftsbiogeochemie, Eberswalder Str. 84, DE-15374 Müncheberg

² Kontakt: ulrike.hagemann@zalf.de

Messtechnik z.B. wegen Bewirtschaftungsereignissen deinstalliert werden muss. Allerdings sind die automatischen Messsysteme relativ teuer und können bei Parzellenversuchen i.d.R. nicht in allen Varianten installiert werden. Automatische Messsysteme können jedoch wichtige Daten zur zeitlichen Dynamik des CO_2 -Austauschs liefern, mit denen die Modellierung der CO_2 -Flussraten auf Basis der manuellen Messungen validiert und verbessert werden kann. Zur Erhöhung der Zuverlässigkeit der auf Basis der manuellen Messungen modellierten CO_2 -Austauschraten wäre es daher sinnvoll, wenn sich die manuell und automatisch erhobenen CO_2 -Flussraten miteinander kombinieren ließen. Allerdings erfordert dies genaue Informationen darüber, ob bzw. unter welchen Voraussetzungen das möglich ist. Diese Arbeit präsentiert daher Ergebnisse von Vergleichsmessungen zweier *non-flow-through non-steady-state* Messsysteme (Livingston und Hutchinson 1995) mit i) manuellen (nach Drösler 2005) und ii) automatischen Hauben.

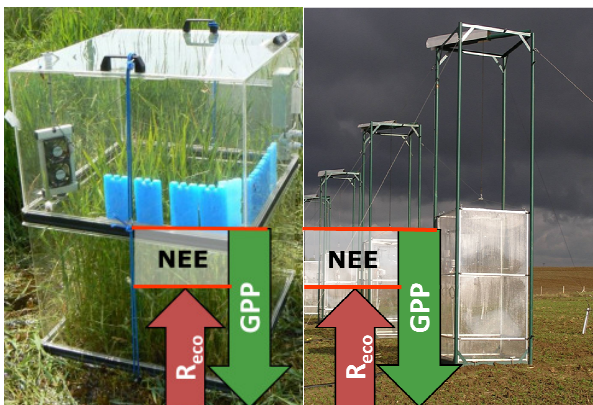


Abb. 1. Manuelles und automatisches Haubenmesssystem.

Methodik

Verglichen werden ein manuelles Messsystem nach Drösler (2005; $V = 0.296 \text{ m}^3$) und ein am ZALF entwickeltes automatisches Messsystem ($V = 5.625 \text{ m}^3$; Abb. 1) mit ventilierten transparenten Hauben. Die Erfassung der CO_2 -Konzentration in der Haube erfolgt beim manuellen System mit einem LI-COR 840 IRGA; beim automatischen System mit einem Vaisala Sensor. Bei hohem Pflanzenbestand werden beim manuellen

Messsystem transparente Verlängerungen eingesetzt (vgl. Abb. 1).

Vergleichsmessungen der beiden Systeme wurden an drei Terminen im Zeitraum 2011-2012 zu verschiedenen Jahreszeiten und mit unterschiedlich ausgeprägtem Pflanzenbewuchs auf der CarboZALF-D Experimentalfläche nahe Prenzlaw in der Uckermark durchgeführt. Auf insgesamt vier Plots wurde in die Bodenrahmen der automatischen Hauben (AUTO; 2.25 m^2) je ein Bodenrahmen der manuellen Hauben (MAN; $0,5625 \text{ m}^2$) installiert (Abb. 2).

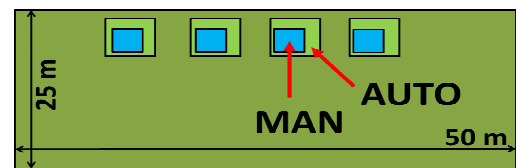


Abb. 2. Anordnung der Messrahmen.

Während der drei Kampagnen wurden zur Erfassung des Tagesganges von CO_2 -Austausch, Temperatur und Strahlung im Wechsel auf den 4 Plots automatische und manuelle Messungen durchgeführt. Angesichts der deutlich unterschiedlichen Volumina betrugen die Verschlusszeiten der beiden Systeme während einer einzelnen Messung 10 min (automatisch) bzw. 3-5 min (manuell). Die nachfolgende Flussratenberechnung für manuell und automatisch erfasste Daten erfolgte mittels linearer Regression. Für alle erfassten Flussraten wurden separat für die drei Termine sowie Tag (NEE) und Nacht (R_{eco}) sogenannte *notched boxplots* erstellt, die durch die Darstellung der Konfidenzintervalle einen visuellen Vergleich der Datengruppen ermöglichen und potentiell signifikante Unterschiede andeuten.

Da jedoch keine Gleichverteilung der Messungen im Tagesverlauf gegeben ist und sich z.B. Strahlungsbedingungen innerhalb kurzer Zeit erheblich ändern können, wurden für einen statistischen Vergleich aus dem Gesamtdatensatz alle Paare von manuell und automatisch erfassten Flussraten ausgewählt, die die folgenden Kriterien erfüllten:

- Erfassung innerhalb von 30 min (Δt)
- PAR-Differenz $\Delta \text{PAR} \leq 100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
- Diff. der Haubeninnentemp. $\Delta T \leq 1,5 \text{ K}$

Diese Datenpaare wurden separat für die drei Termine sowie Tages- (NEE) und Nachtmessungen (R_{eco}) mittels Wilcoxon-Vorzeichen Rang-Test auf signifikante Unterschiede zwischen den beiden Messsystemen getestet ($\alpha = 0.05$).

Ergebnisse und Diskussion

Erste Erhebungen, die parallel auf nebeneinander liegenden Flächen erfolgten ($> 5\text{ m}$; *Daten nicht gezeigt*) lieferten für die beiden Messsysteme teilweise leicht voneinander abweichende CO_2 -Flüsse. Die vorliegenden Vergleichsmessungen an identischen Messpunkten zeigen, dass beide Messsysteme eine vergleichbare zeitliche Dynamik der CO_2 -Flüsse abbilden, aber teilweise eine sehr hohe, jedoch nicht systematische Streuung aufweisen (Abb. 3).

Ein mittels Konfidenzintervallen angestellter Vergleich aller erfassten CO_2 -Flussraten (Abb. 4) separat für Nacht (R_{eco})- und Tages (NEE)-Messungen deutet für im Sommer (14./15.08.2012) erhobene R_{eco} -Flussraten signifikant höhere manuelle Flüsse an. Es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass diese Unterschiede darauf zurückzuführen sind dass die Anzahl der Messungen mit beiden Messsystemen und die Verteilung der Messungen im jeweiligen Tagesverlauf nicht vollständig ausgeglichen sind. Dieses Problem kann durch die Beschränkung des Datensatzes auf vergleichbare Datenpaare entschärft werden (Kriterien s.o.).

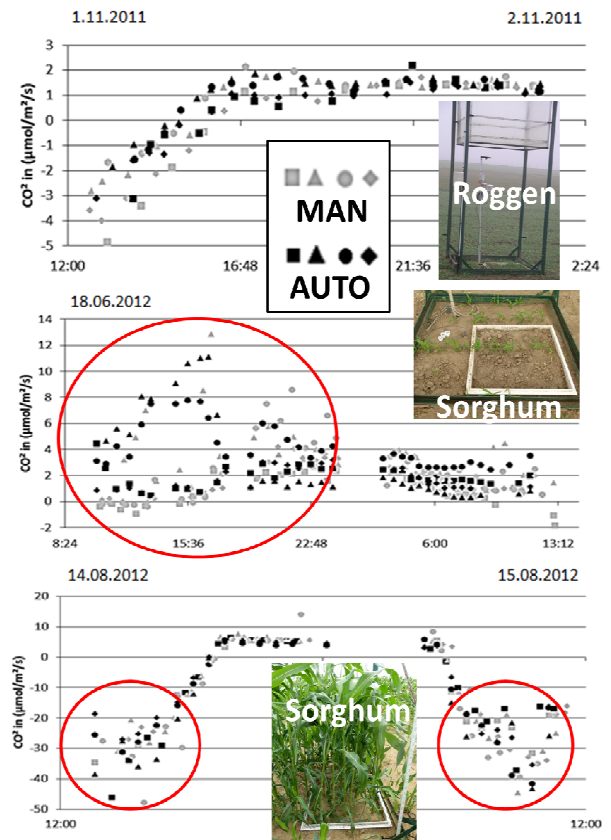


Abb. 3. Zeitliche Dynamik der Flussraten.

Der Vergleich dieser Datenpaare belegt geringfügig aber signifikant höhere manuelle R_{eco} -Flussraten, insbesondere in den Sommermonaten, d.h. bei einem höheren Pflanzenbestand (Abb. 5). Die NEE-Flussraten hingegen sind mehrheitlich vergleichbar. Die geringfügig höheren mit dem automatischen System ermittelten NEE-Flussraten im Winter sind aufgrund des absolut sehr niedrigen Niveaus wahrscheinlich nur von geringer Relevanz im Hinblick auf Gesamtjahresbilanzen.

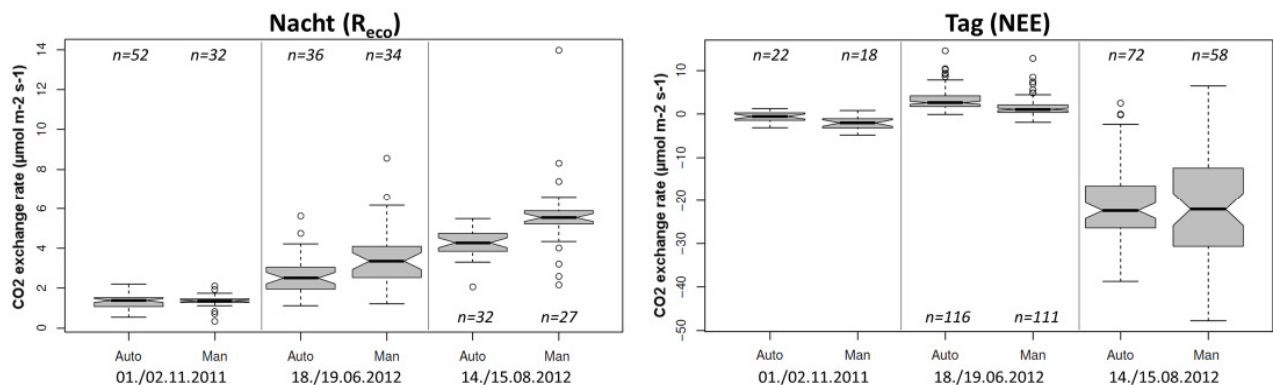


Abb. 4. Notched boxplot-Darstellung aller zu den 3 Terminen gemessenen CO_2 -Flussraten getrennt nach Nacht- (R_{eco})- und Tages- (NEE)-Messungen

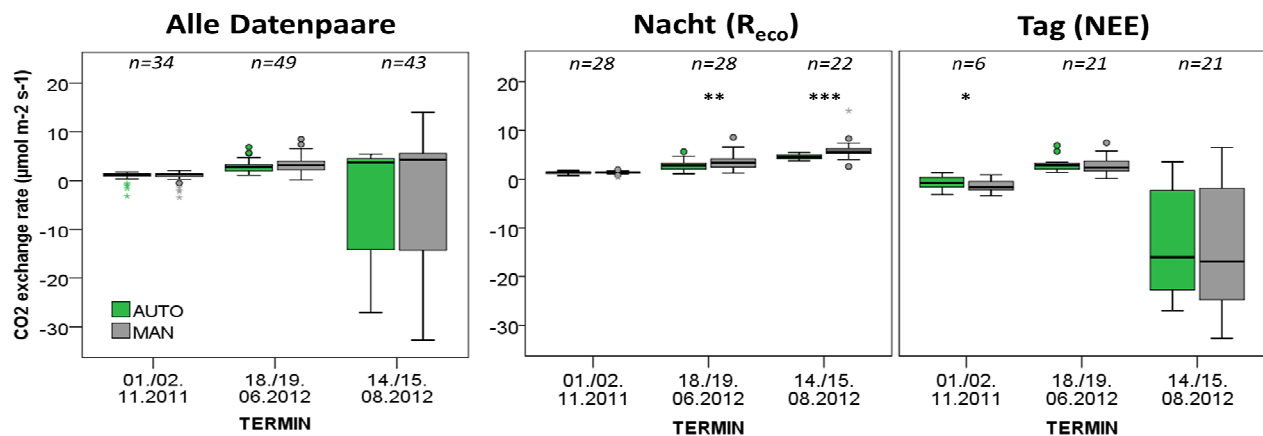


Abb. 5. Vergleich der ausgewählten Datenpaare nach Terminen und getrennt nach Nacht-(R_{eco})- und Tages-(NEE)-Messungen. Sterne markieren signifikante Unterschiede zwischen MAN und AUTO: * $p \leq 0.05$; ** ≤ 0.01 ; *** ≤ 0.001 (Wilcoxon-Rang-Vorzeichen-Test)

Schlussfolgernd lässt sich sagen, dass das manuelle und das automatische Messsystem hinsichtlich nachts ermittelter CO_2 -Flussraten (R_{eco}) nur eingeschränkt vergleichbar sind. Eine mögliche Ursache der beobachteten Differenzen könnte z.B. eine durch unterschiedliches Strömungsverhalten der Luft innerhalb der Hauben (aufgrund der Maße) unterschiedliche Verteilung des CO_2 im Hinblick auf den Sensor sein. Dies könnte dazu führen, dass Änderungen der CO_2 -Konzentration bei Pflanzenbewuchs mit dem automatischen Messsystem nur zeitverzögert detektiert und somit geringere NEE-Flüsse berechnet werden. Außerdem ist es möglich, dass die automatischen Messhauben aufgrund ihrer Höhe kurzzeitig vorherrschende witterungs-bedingte bodennahe atmosphärische Schichtungen (z.B. im Winter und/oder nachts) durchbrechen und somit temporär höhere R_{eco} -Flussraten als die manuellen Hauben induzieren. In weiteren systematischen Versuchen sollten daher Indikatoren für derartige Witterungslagen ermittelt werden, um diese bei der Modellierung berücksichtigen zu können.

Im Gegensatz zu den Nachtmessungen, liefern beide Messsysteme tagsüber (NEE) vergleichbare Ergebnisse und sind somit im Hinblick auf *gap filling* und Modellvalidierung kombinierbar.

Insgesamt zeigen die vorgestellten Versuche, dass beide Messsysteme vergleichbare Ergebnisse liefern können und somit eine Modellierung des Ökosystem- CO_2 -Austauschs auf Basis kombinierter manuell und automatisch ermittelter CO_2 -Flussraten prinzipiell zulässig ist.

Quellen

- Drösler, M. 2005. Trace gas Exchange and Climatic Relevance of Bog Ecosystems, Southern Germany. Dissertation, Munich University of Technology, Munich, Germany, 182 p.
- Livingston, G.P. and Hutchinson, G.L. 1995. Enclosure-based measurement of trace gas exchange: applications and sources of error. In: Matson, P.A., Harriss, R.C. (Eds.) *Biogenic Trace Gases: Measuring Emissions from Soil and Water*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, pp. 14–51
- Lloyd, J. and Taylor, J. A. 1994. On the Temperature Dependence of Soil Respiration. *Functional Ecology* 8, pp. 315–323